

Aula Inaugural

Máquinas térmicas e de fluxo

DSc. Eng. Samuel Moreira Duarte Santos
Engenheiro Mecânico
CREA MG 106478D

Rio de Janeiro, 10 de abril 2023

Agenda

- Apresentações iniciais;
- Pacto pelo aprendizado (Política da honestidade)
- Bibliografia sugerida;
- Ementa;
- Avaliações;
- Conceitos iniciais;

Apresentações iniciais

Política da honestidade

P litica da honestidade

- Honestidade e integridade são componentes integrais do processo acad mico;
- Os alunos deverão ser honestos e  ticos em todos os momentos em sua busca de objetivos acad micos;
- Desonestidade não será tolerada neste curso; e
- Qualquer estudante que for pego colando ou realizando qualquer prática desonesta receberá a punição merecida.

Bibliografía

Bibliografia

CARVALHO, Djalma Francisco. **Instalações elevatórias b^ombas**. Universidad Catolica Minas Gerais, 1979.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Bombas e instalações de bombeamento. **Ri^o de Janeir^o: Guanabara D^ois**, 1982.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A.; BUESA, Ignacio Apraiz. termodinâmica. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

G. Van Wylen, C. Borgnakke, and R. E. Sonntag. Fundamentos da Termodinâmica. Editora Edigar Blucher, 8^a edição, 2013.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D. Princípios de termodinâmica para engenharia . Grupo Gen-LTC, 2000.

Bibliografia

ENERGÉTICA, Eficiência. Conservação de Energia.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE VAPOR, Eletrobrás / PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI, MME, autor Luiz Augusto Horta Nogueira, co-autores Carlos R. Rocha e Fábio José H. Nogueira (UNIFEI), 196 pág., Rio de Janeiro – RJ, 2005.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE VAPOR – MANUAL PRÁTICO, Eletrobrás / PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI, MME, autor Luiz Augusto Horta Nogueira, co-autores Carlos R. Rocha e Fábio José H. Nogueira (UNIFEI), 96 pág., Rio de Janeiro – RJ, 2005.

Avaliações

Avaliações

- 3 provas de 10 pontos;
- As notas da prova são 90% da nota final;
- Os 10% restante são trabalhos, quiz, exercícios complementares etc.



Ementa

Ementa

- Noções de termodinâmica aplicadas a máquinas térmicas;
- Noções de mecânica dos fluidos aplicadas a máquinas de fluxo;
- Máquinas de fluxo;
- Ciclos de potência a vapor;
- Ciclos de potência a gás; e
- Motores de combustão interna.



Conceitos iniciais

Energia

~~• “energia é a medida da capacidade de efetuar trabalho”;~~

- Este modo de se definir energia perde o sentido ao ser aplicado ao calor, pois esta forma de energia é apenas parcialmente conversível em trabalho, como se verá adiante;



“Pode ser definida como a capacidade de produzir um efeito.” James clerk Maxwell

Exergia

- “exergia é o trabalho máximo que pode ser obtido ao trazer um sistema para o equilíbrio com o ambiente”

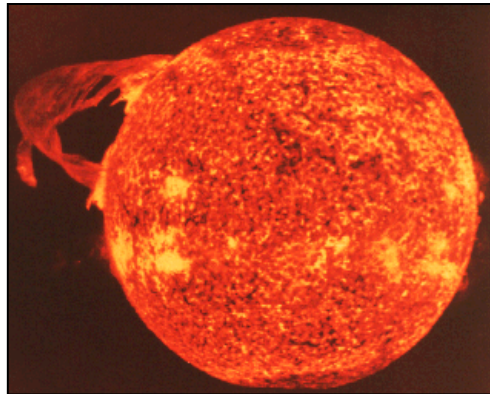
Zoran Rant, 1956



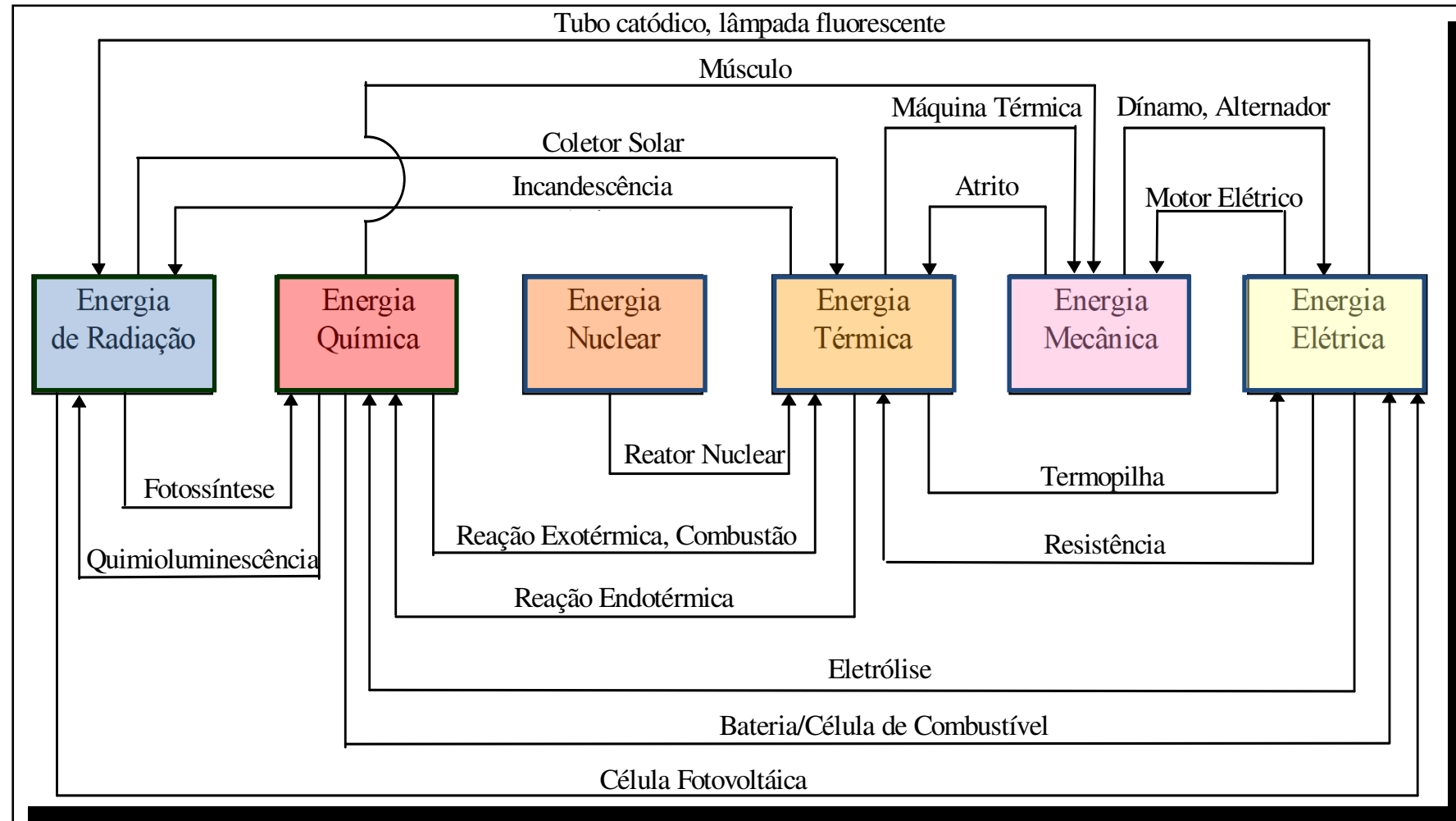
Exergia é a capacidade de produzir trabalho

As várias formas da energia

- energia nuclear e atômica
- energia elétrica
- energia química
- energia térmica (energia interna e radiação)
- energia mecânica (potencial e cinética)
- outras...



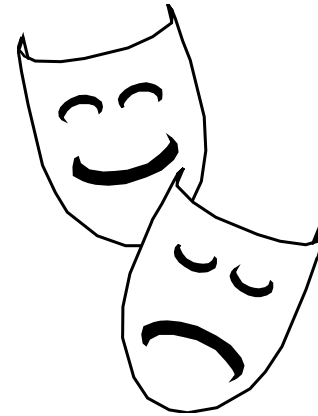
As conversões de ENERGIA



As leis básicas das conversões de ENERGIA

1. Conservação da Energia

*Energia não se cria,
Energia não se destrói...*



2. Degradação da Energia

*Os processos de conversão energética
são irreversíveis...*

Energia é essencial

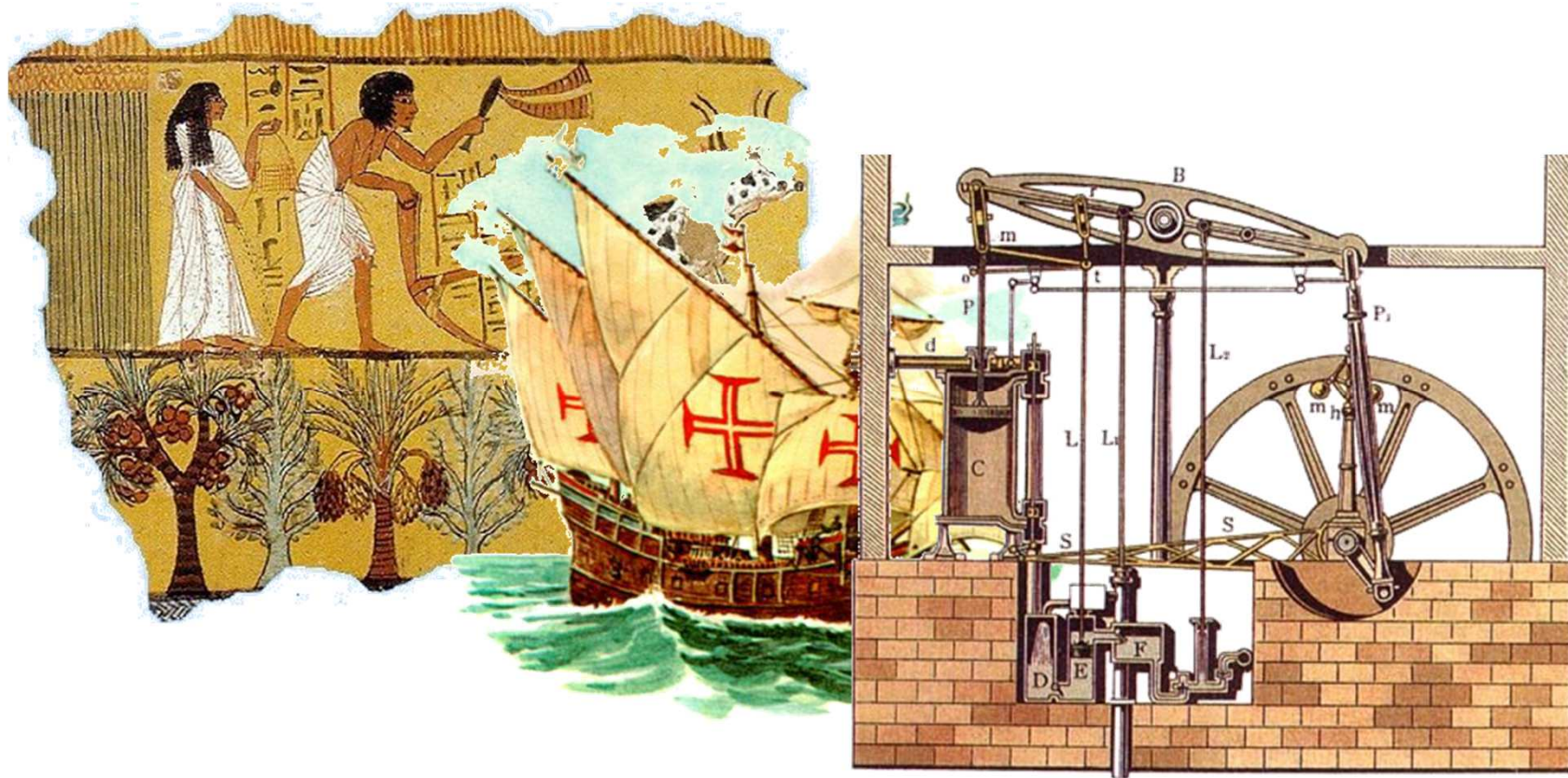
A descoberta das técnicas de fazer o fogo foi crucial em nossa história. O acesso à energia alterou profundamente as condições de vida e produção na sociedade humana.



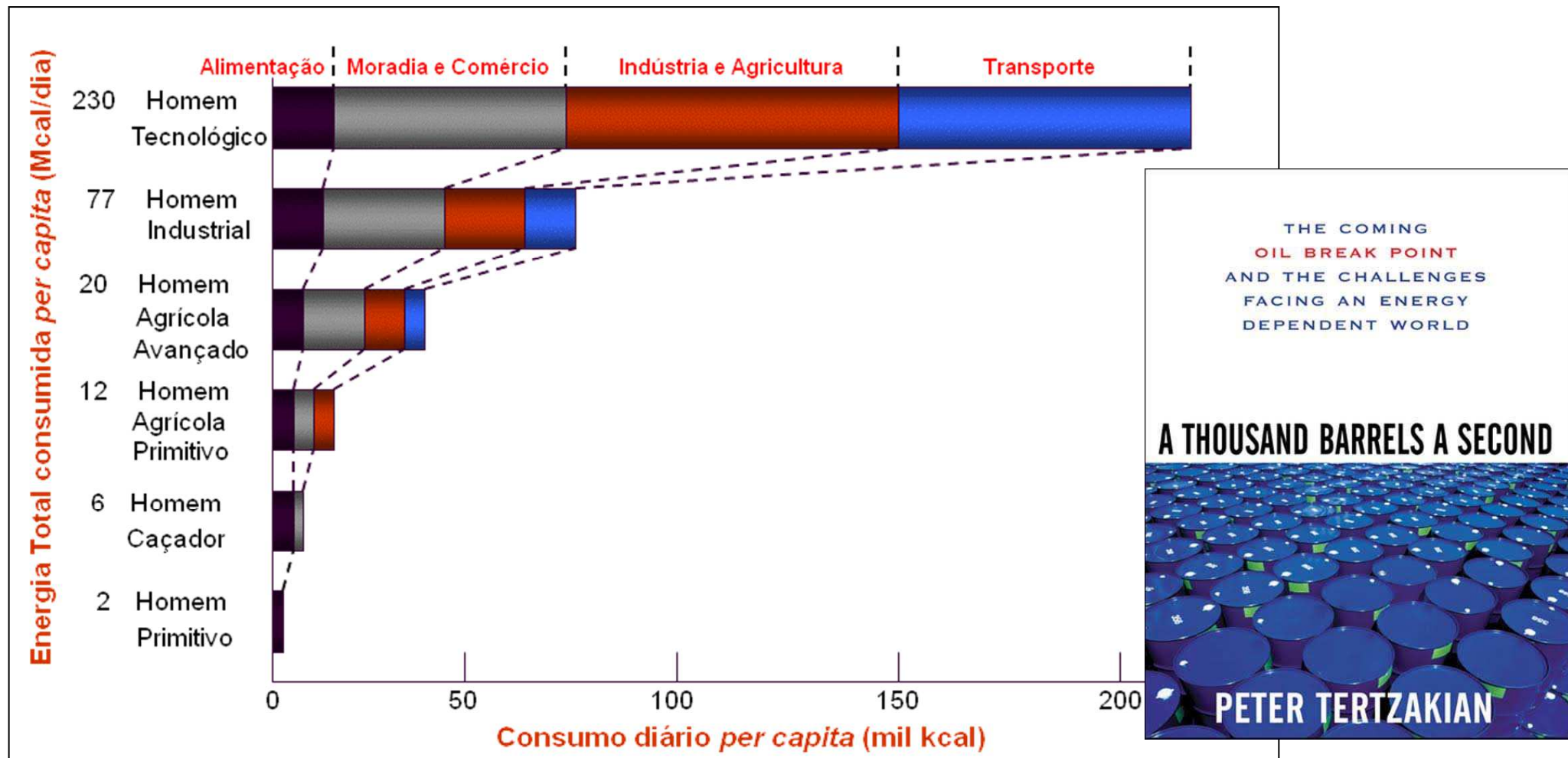
A Guerra do Fogo, J.J Arnaud, 1981

Energia é poder

As grandes revoluções na história da Humanidade foram determinadas por novas tecnologias e pelo acesso à energia.

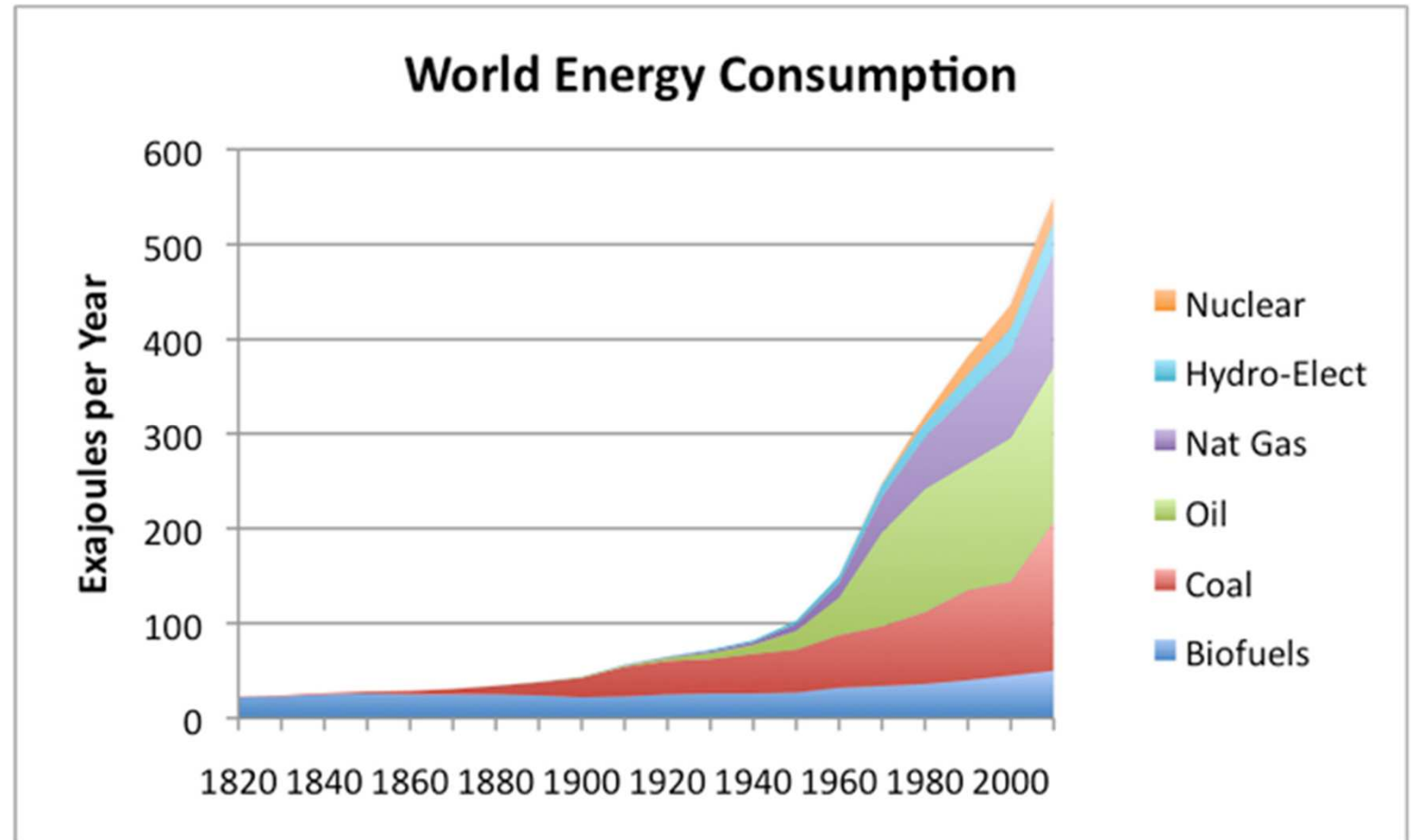


Cada vez consumimos mais energia...



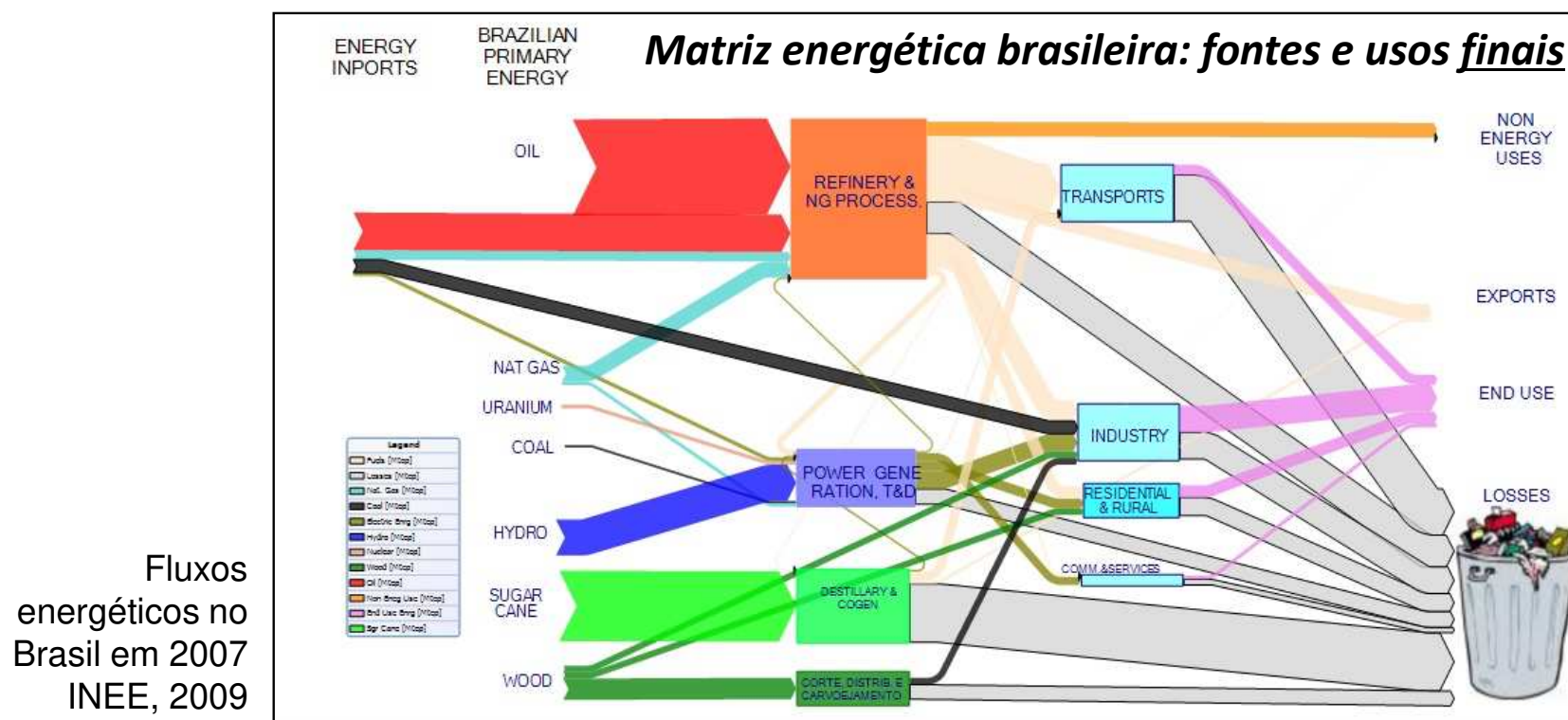
(Goldemberg, 2008)

Por isso, tivemos de buscar energia não sustentável, com limites físicos e impactos ambientais...



Contudo, n[os] sistemas energ[éticos] sempre existem perdas...

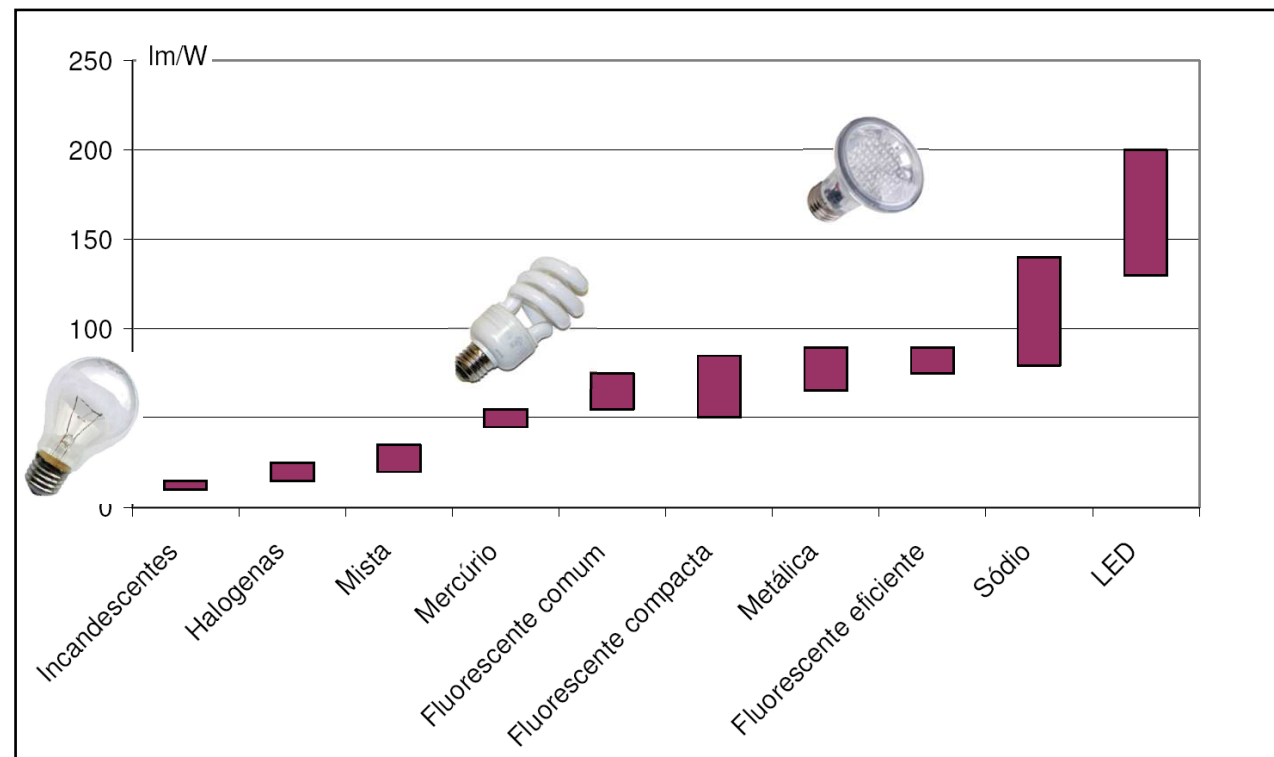
Os sistemas energ[éticos] s[ão] complexas redes de explora[ç]o[es] de recursos naturais, com diversos processos e um **elevad[O] n[ível] de perdas**, eventualmente acima dos n[íveis] economicamente justific[áv]eis.



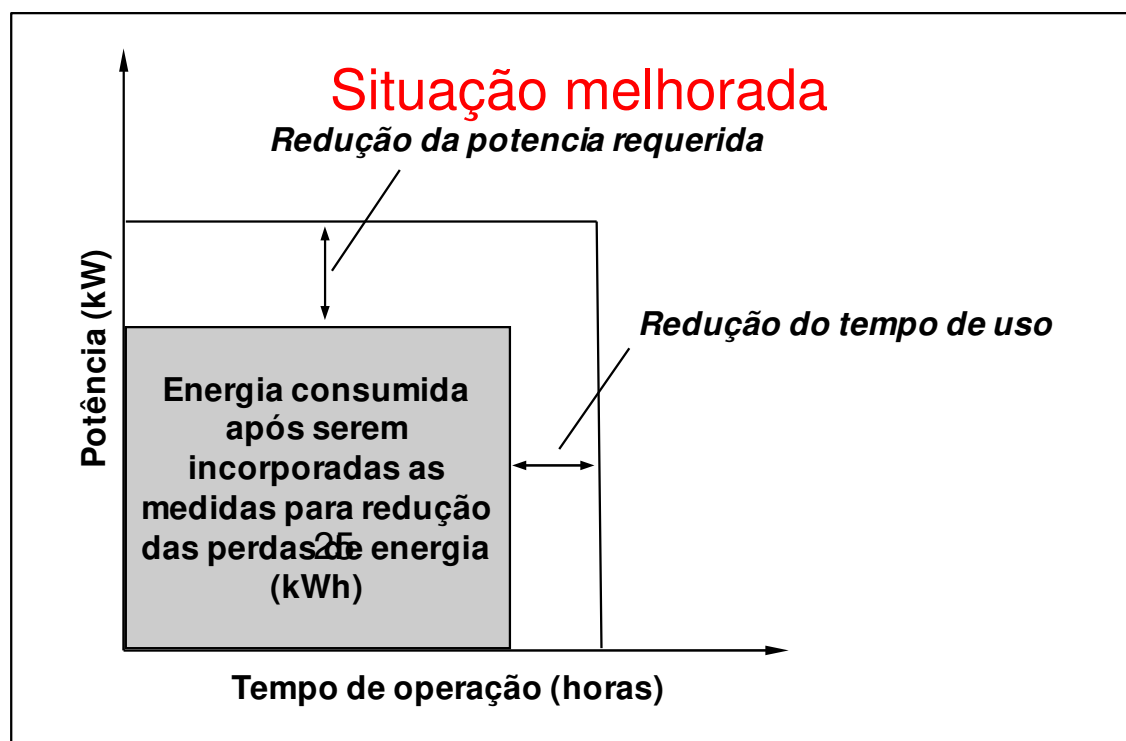
... mas as perdas energéticas podem ser reduzidas!

Além de ajustes nos sistemas atualmente em operação, as novas tecnologias e dos métodos de gestão energética oferecem alternativas para reduzir e manter as perdas de energia em um nível mínimo aceitável.

Evolução da eficácia
luminosa de lâmpadas
elétricas



Incrementar a eficiência implica em utilizar a tecnologia adequada da maneira adequada.



O uso eficiente de energia é um ato de inteligência, nunca uma punição ou coerção...



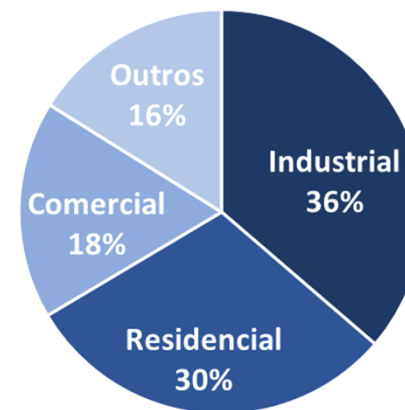
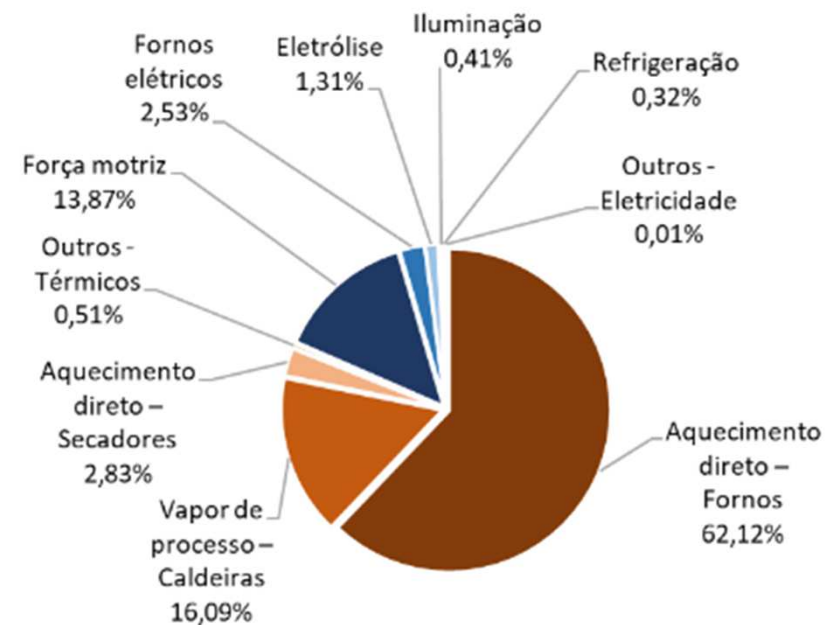
Estudo Eletronbras/CNI

-

**Levantamento de
potencial**

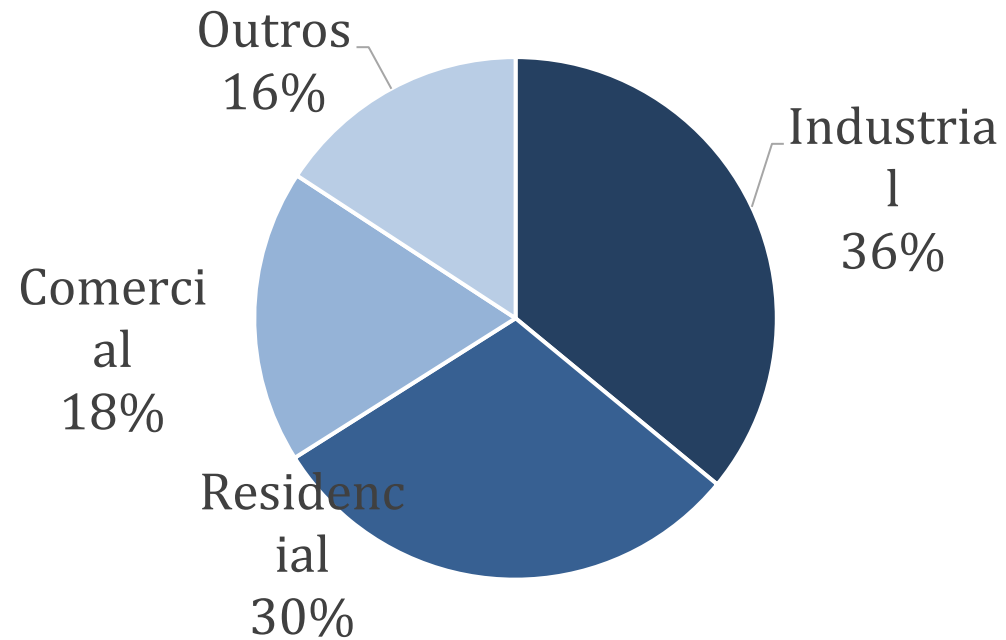
Potencial técnico

	Usos industriais da energia	Potencial de economia (tep)	Representação no total de economia (%)	Setores com maior potencial de eficiência
	Total	14.655.855,67	100,00%	
Combustíveis	Aquecimento direto – Fornos	9.103.661,52	62,12%	Siderurgia Cerâmico Cimento
	Aquecimento direto – Secadores	415.466,80	2,83%	Cerâmico Alimentos e bebidas Têxtil Papel e celulose
	Vapor de processo – Caldeiras	2.358.183,02	16,09%	Têxtil Alimentos e bebidas Siderurgia
	Outros	74.679,61	0,51%	Químico
Energia elétrica	Força motriz	2.032.439,53	13,87%	Siderurgia Extrativa mineral Alimentos e bebidas
	Refrigeração	46.581,66	0,32%	Alimentos e bebidas Químico Têxtil
	Fornos elétricos	370.873,53	2,53%	Siderurgia Metais não ferrosos Ferros ligas
	Eletrólise	191.387,34	1,31%	Metais não ferrosos Química Papel e celulose
	Iluminação	60.214,47	0,41%	Alimentos e bebidas Têxtil Extrativa mineral
	Outros	2.368,18	0,02%	Papel e celulose Extrativa mineral



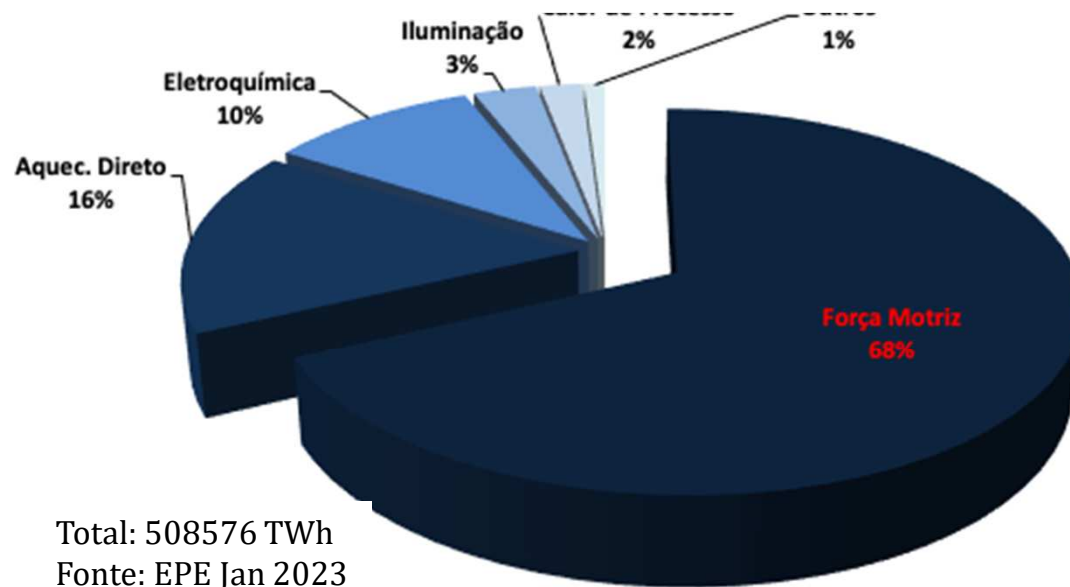
Sistema Matriz

Consumo de energia elétrica por setor



Total: 508576 TWh
Fonte: EPE Jan 2023

Consumo de energia elétrica na indústria por uso final



Total: 508576 TWh
Fonte: EPE Jan 2023
BEU 2005

Participação da força motriz no consumo de eletricidade na indústria

Setor	Total GWh/a	Força Motriz e Refrigeração	
		GWh/a	%
Cimento	3.754	3.702	99%
Ferro-gusa e aço	16.889	14.111	84%
Ferro-ligas	7.659	236	3%
Mineração e pelotização	9.292	8.586	92%
Não ferrosos	33.907	10.282	30%
Química	21.612	16.465	76%
Alimentos e bebidas	19.851	16.009	81%
Têxtil	7.776	7.582	98%
Papel e celulose	14.098	13.442	95%
Cerâmica	3.050	2.745	90%
Outros	34.173	23.750	70%
Total	172.061	116.909	68%

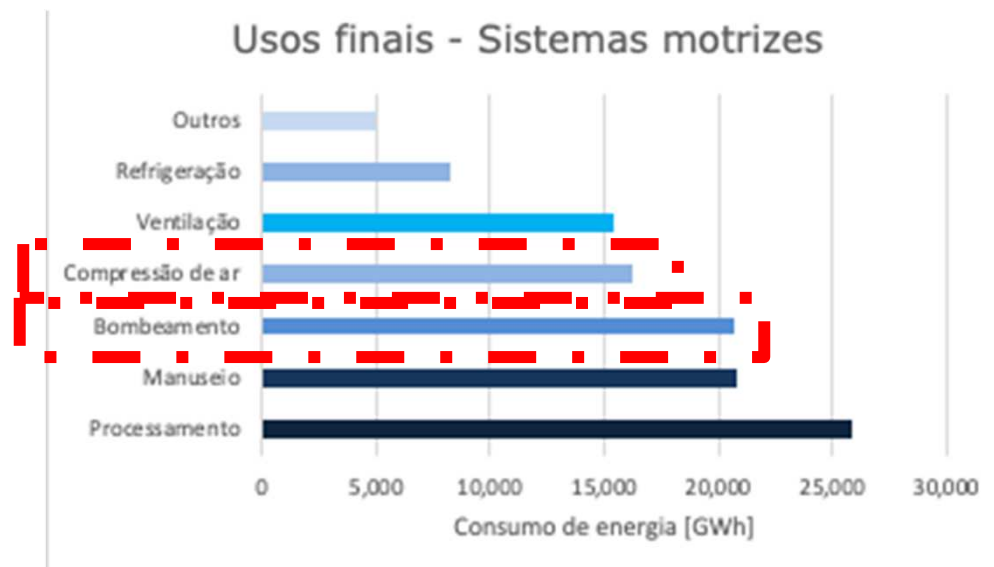
Fonte: Baseado no BEU 2005, MME, 2005 e BEN 2005, EPE, 2006.

Distribuição da energia em força matriz por setor e uso final

Setores	Bombas	Ventiladores	Compressores de ar	Refrigeração	Manuseio	Processamento	Outros	Total
Cimento	20,4%	14,5%	16,1%	0,2%	11,1%	33,3%	4,4%	100,0%
Ferro-gusa e aço	8,7%	15,3%	14,3%	0,0%	47,1%	12,6%	1,9%	100,0%
Ferro-ligas	8,7%	15,3%	14,3%	0,2%	47,1%	12,6%	1,9%	100,0%
Mineração e pelotização	8,7%	15,3%	14,3%		47,1%	12,6%	1,9%	100,0%
Não ferrosos	8,7%	15,3%	14,3%		47,1%	12,6%	1,9%	100,0%
Química	27,5%	12,5%	29,3%	2,5%	1,5%	24,9%	1,9%	100,0%
Alimentos e bebidas	18,9%	8,8%	8,9%	18,4%	7,0%	30,2%	7,7%	100,0%
Têxtil	12,3%	8,7%	9,7%	40,0%	6,7%	20,0%	2,6%	100,0%
Papel e celulose	32,9%	20,6%	4,8%	0,6%	7,7%	22,3%	11,1%	100,0%
Cerâmica	20,5%	14,5%	16,1%		11,1%	33,4%	4,4%	100,0%
Outros	18,6%	13,2%	14,7%	9,2%	10,1%	30,3%	4,0%	100,0%
Total	18,4%	13,7%	14,5%	7,4%	18,5%	23,1%	4,4%	100,0%

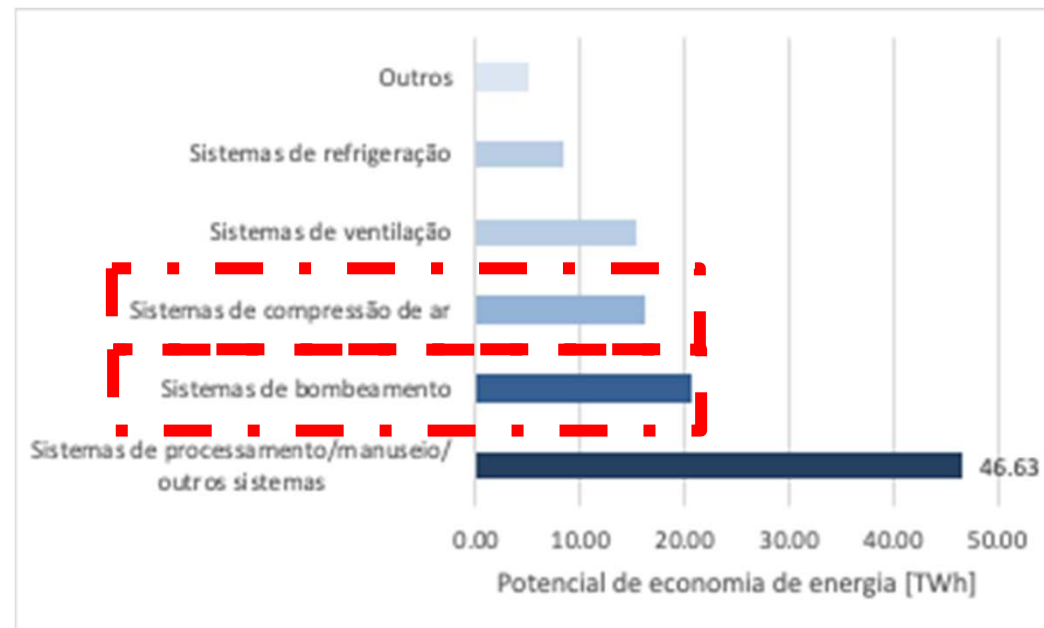
Fonte: Baseada em EPE, 2006, MME, 2005 e Nadel et alii, 2002.

C nsum  – us s finais da indústria



PNE 2030 PNE 2030 Tab.3 pag. 18

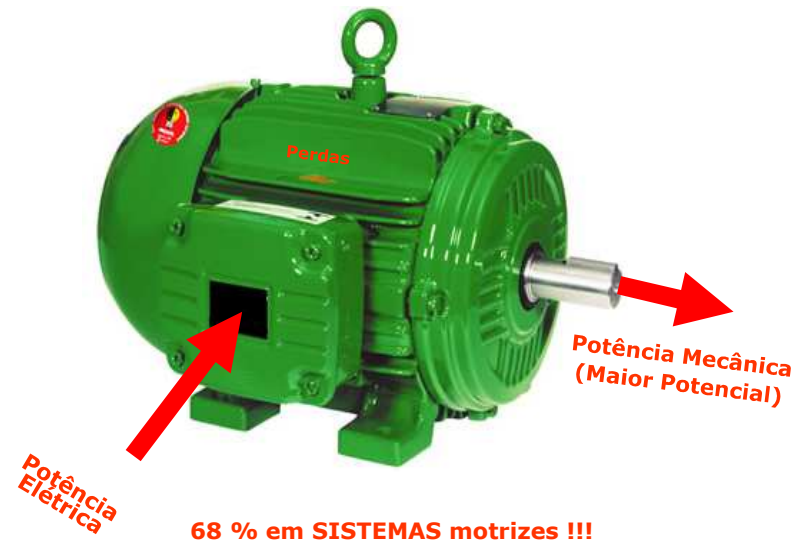
Potenciais: usos finais da indústria



PNE 2030 PNE 2030 Tab.3 pag. 18

Motor elétrico e o sistema motoriz

- O motor elétrico é um transdutor de energia;
- Seu consumo refere-se somente às suas perdas internas;
- *O motor elétrico não consome toda essa energia !*



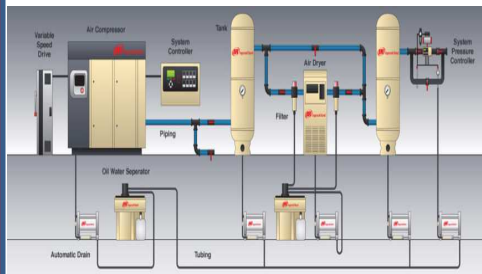
Eficiência Energética Industrial: Visã[?] Sistêmica - (SISTEMAS MOTRIZES)



POTENCIAL



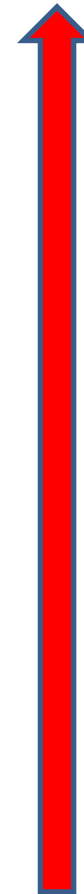
PROCESSOS



SISTEMAS



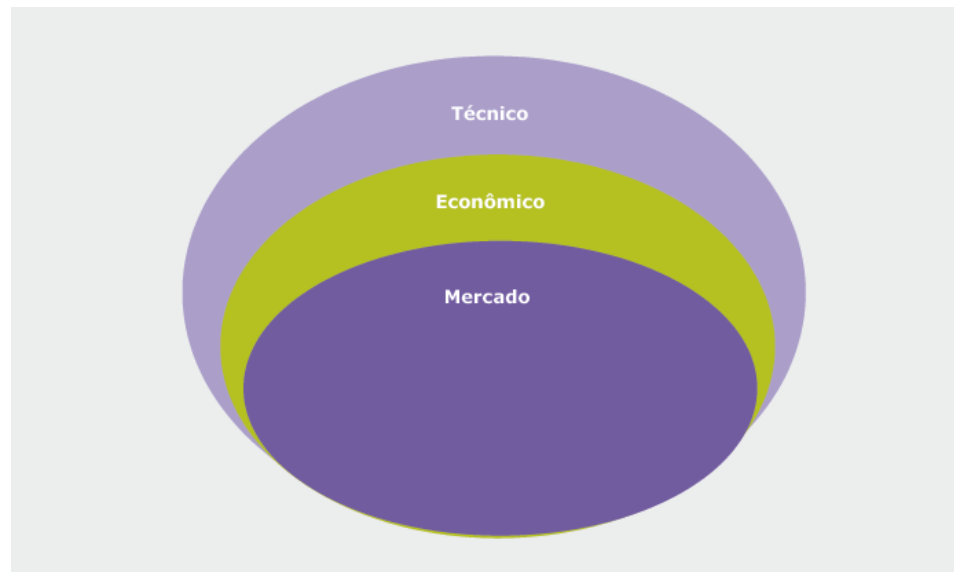
DIFICULDADE



EQUIPAMENTOS



Potenciais de eficiência energética

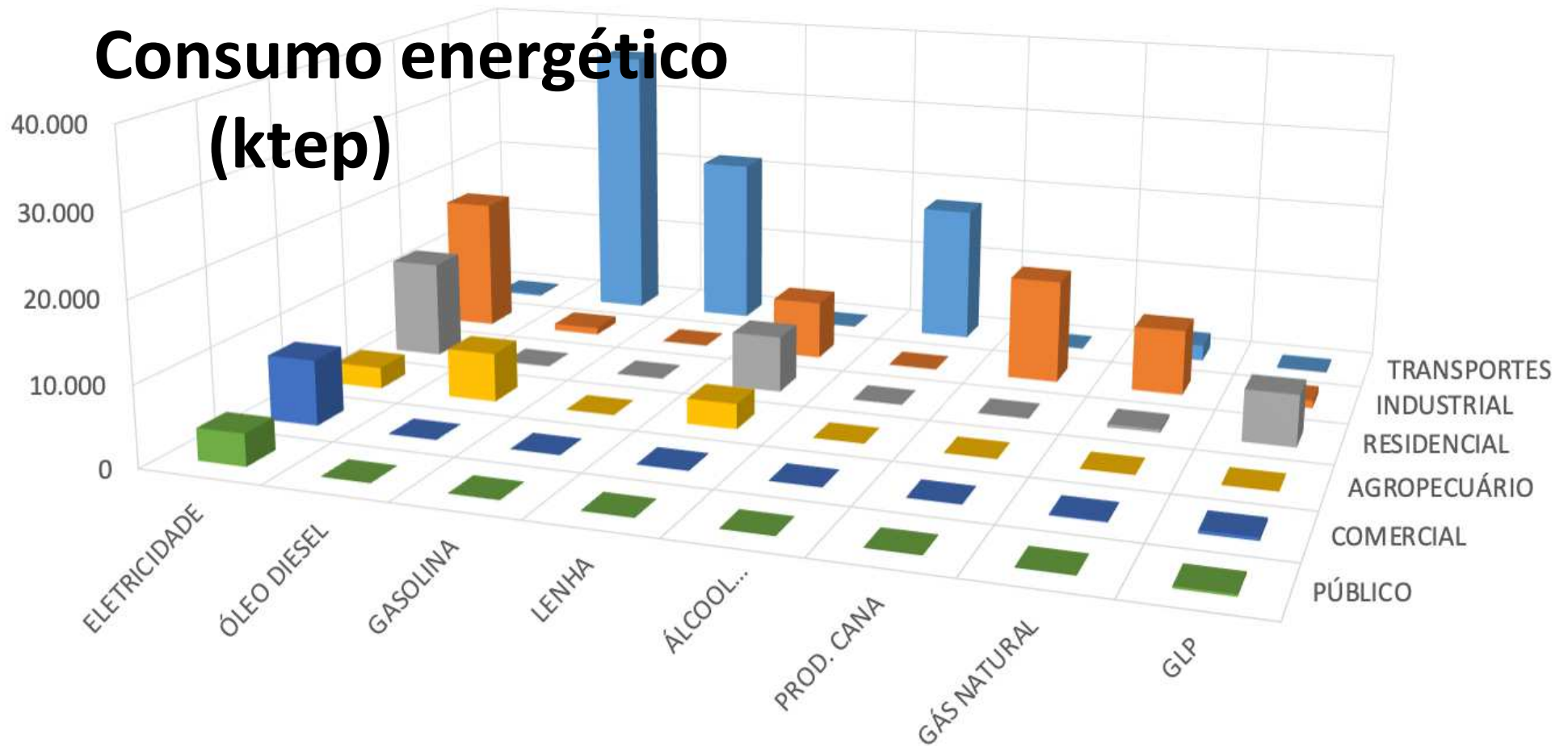


PDEf – Plan? Descen de Eficiência Energética

Resultados do Balanço de Energia Útil no Brasil (PDEf, PROCEL)

CONSUMO DE ENERGIA POR SETOR DE ATIVIDADE (2019)
(CONFORME BEN 2020)

Consumo energético (ktep)

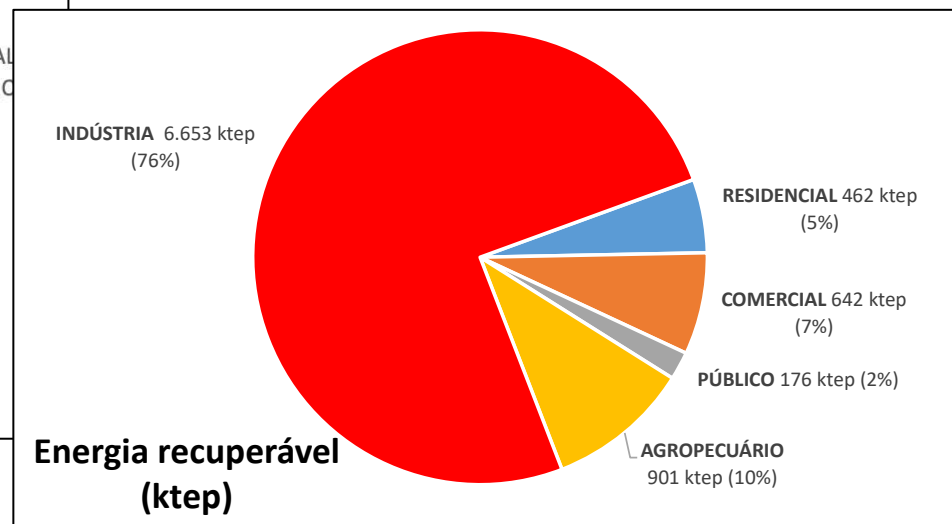
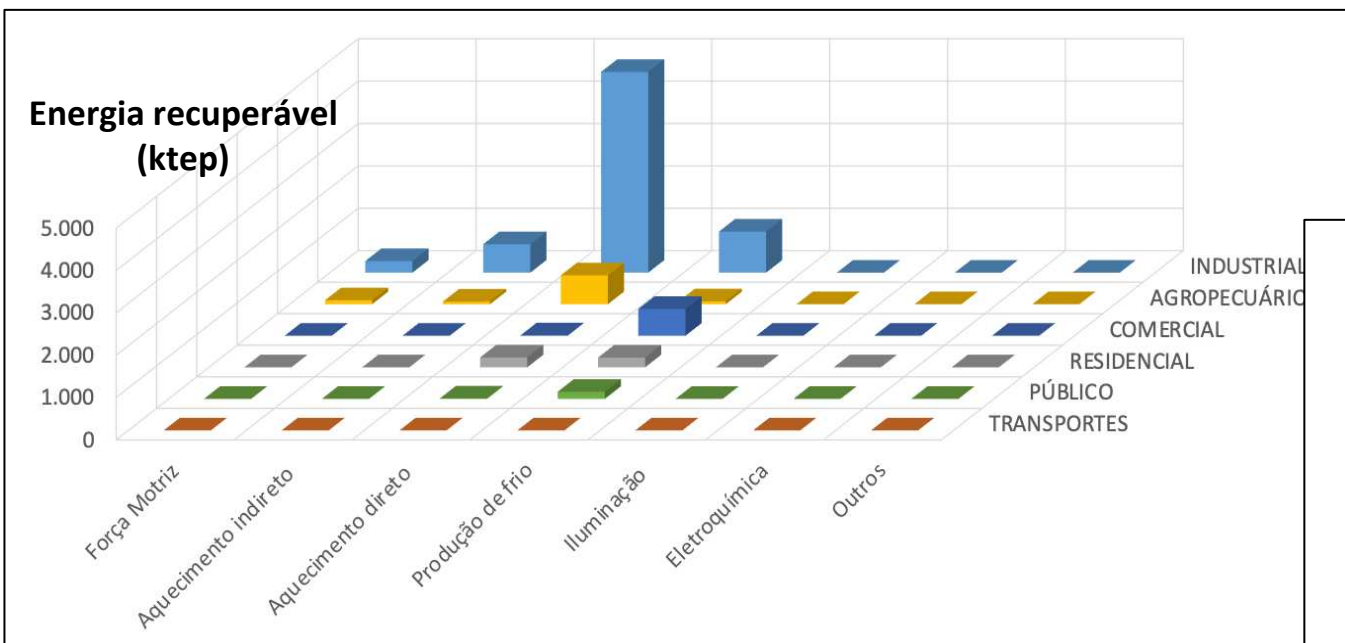


Resultados do Balanço de Energia Útil no Brasil (PDEf, PROCEL)

ENERGIA RECUPERÁVEL POR SETOR ECONÔMICO

As perdas recuperáveis representam de 4% do consumo total, e alcançam 8,5% nas indústrias.

Embora seja o setor de maior consumo energético e perdas mais elevadas, as perdas recuperáveis no setor de Transportes não foram calculadas devido às dificuldades técnicas associadas à instalação de sistemas de recuperação de calor em equipamentos que não sejam estacionários.

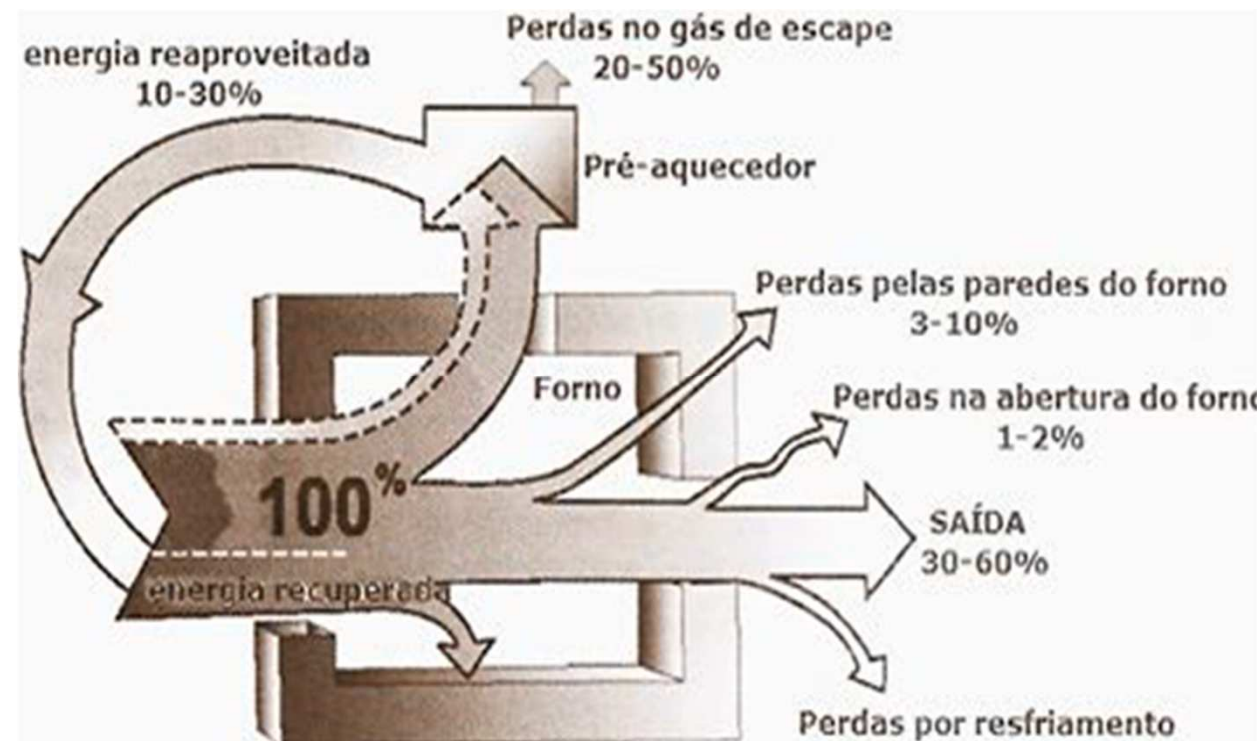
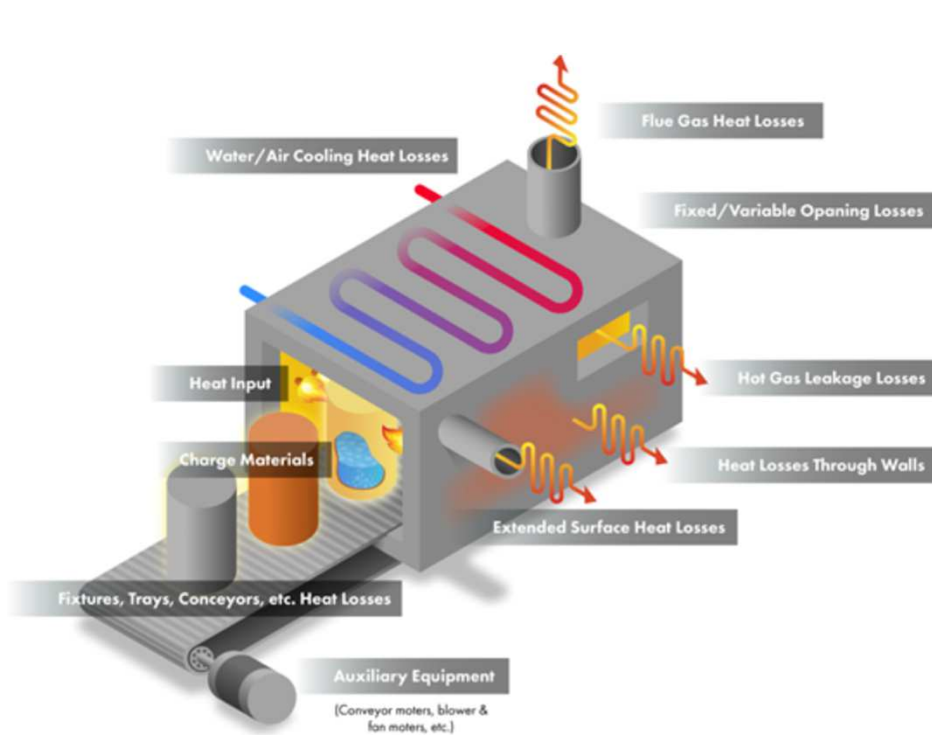


(valores para 2019)

Aqueciment?
diret?
e
indiret?

Aqueciment?
direct:
Forn?s

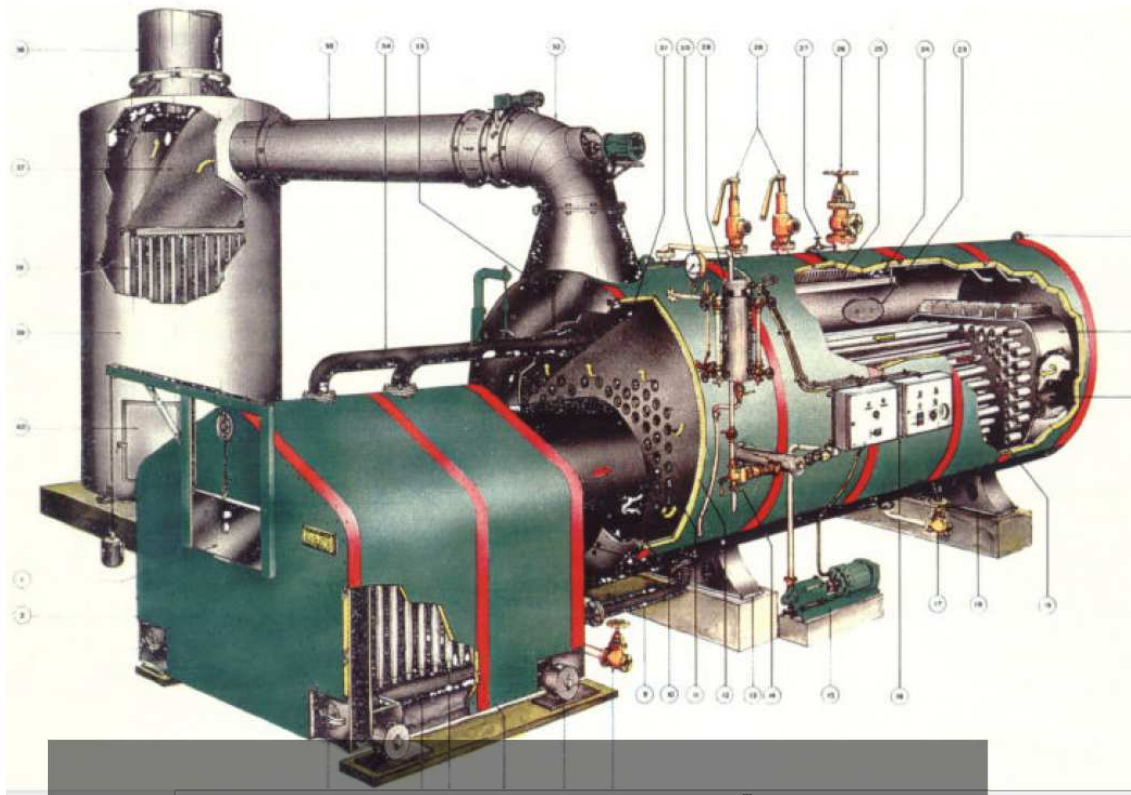
Diagrama de Sankey típico para fornos



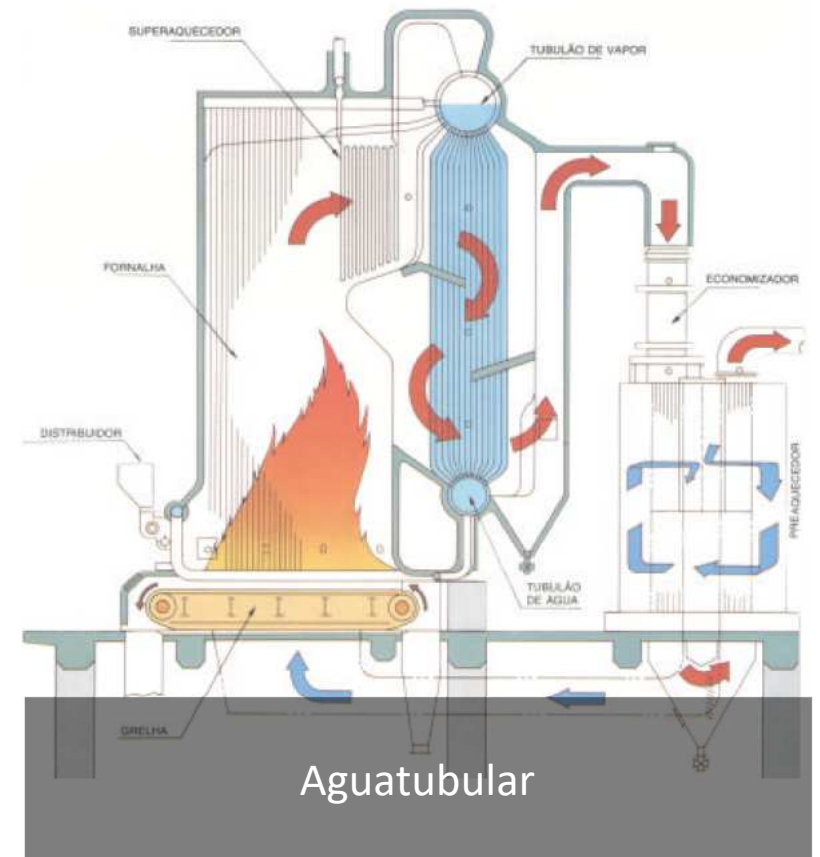
$$\text{Eficiência Térmica do Forno} = \frac{\text{Calor Armazenado no produto}}{\text{Calor do combustível consumido}}$$

Aquecimento indireto: Caldeiras

Tipos de caldeiras

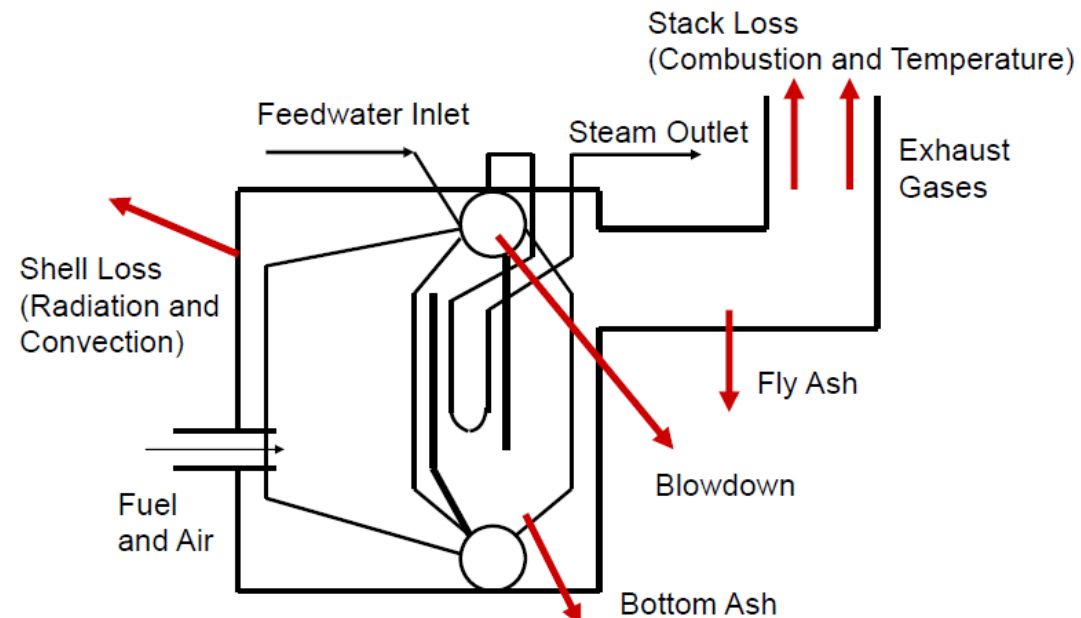
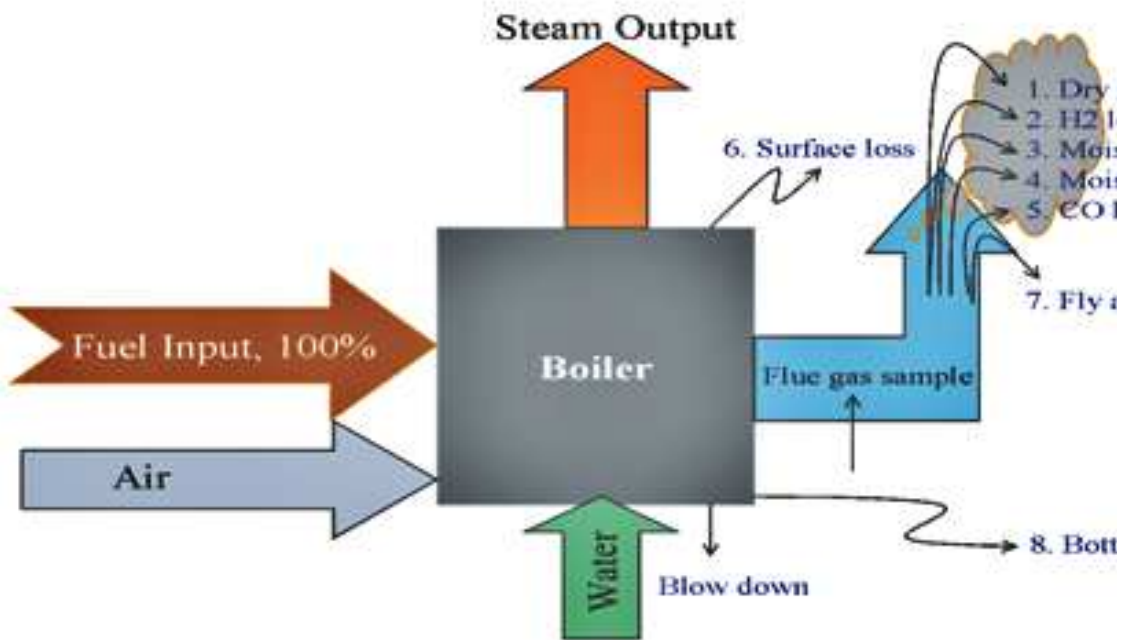


Flamotubular



Aguatubular

Balanc[?] energético[?] em caldeiras



$$\eta = 1 - \sum \text{Perdas}$$

Chaminé

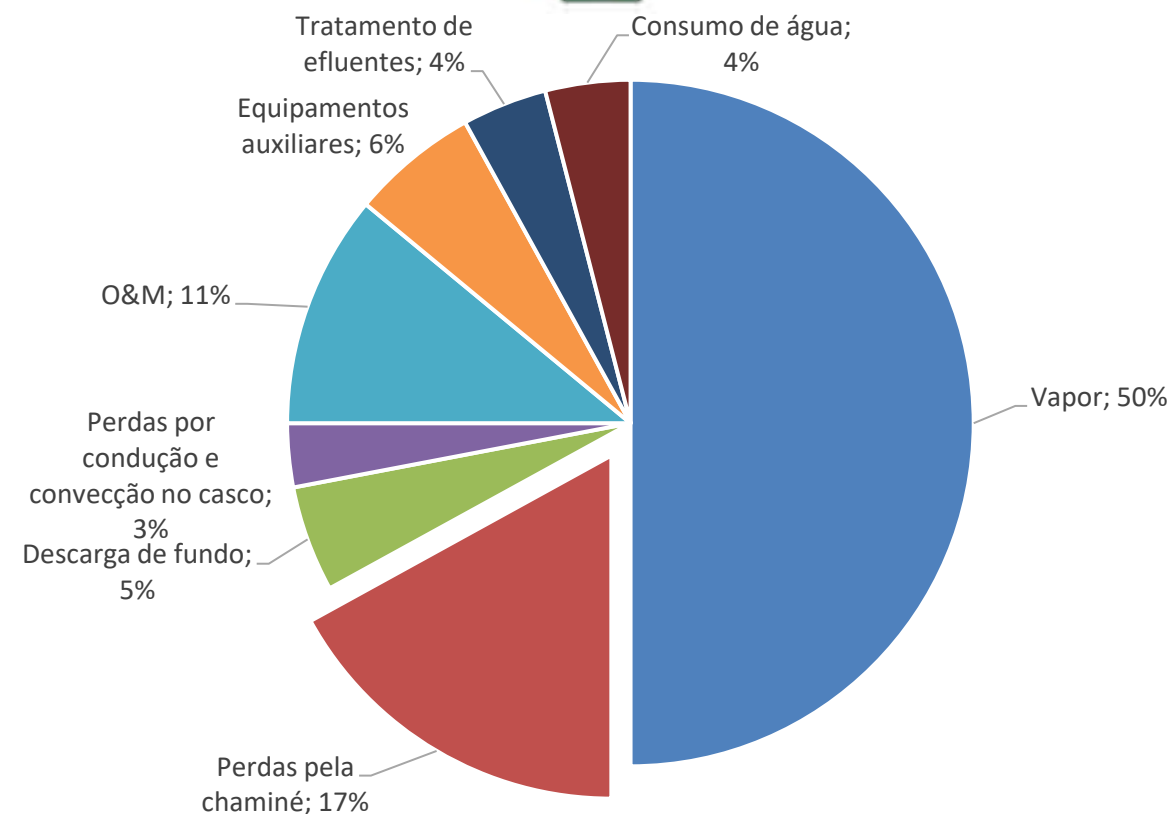
Radiação

Convecção

Descarga de fundo (*blowdown*)

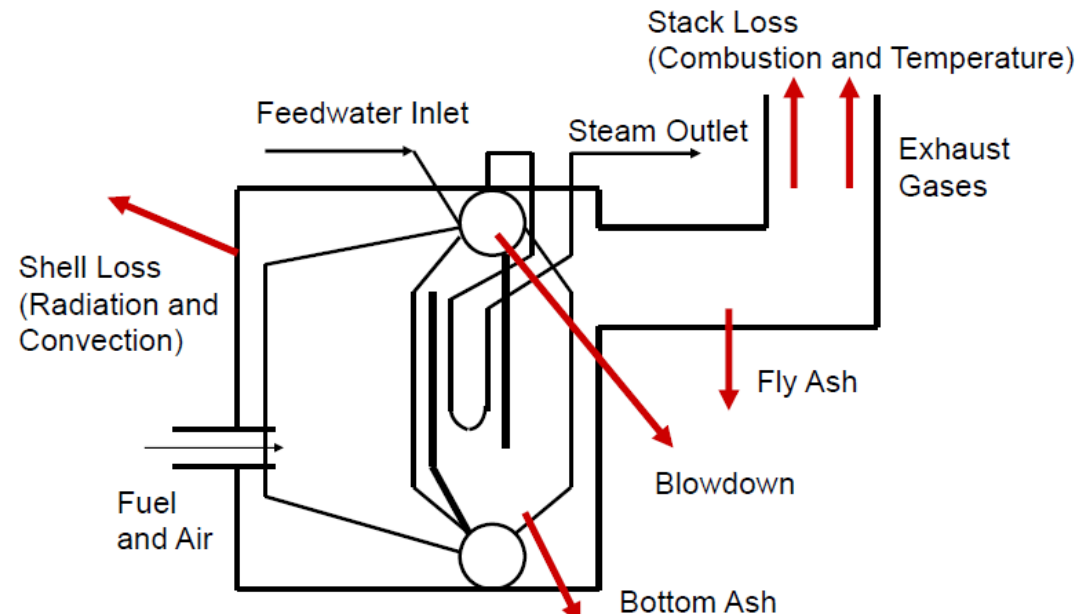
Cinzas

Combustível



Eficiência térmica: Método indireto

- A eficiência do forno é calculada após subtrair:
 - A perda de calor sensível no gás de combustão;
 - Perda devido à umidade no gás de combustão;
 - Perda de calor devido a aberturas no forno;
 - Perda de calor através do revestimento do forno;
 - Outras perdas não contabilizadas;
- Vários parâmetros necessários:
 - Consumo de combustível do forno por hora;
 - Produção de material;
 - Quantidade de ar em excesso;
 - Temperatura do gás de combustão;
 - Temperatura do forno em várias zonas;
 - Temperatura do ar de combustão.
- Instrumentos necessários:
 - Termômetro;
 - Monitor de eficiência de combustível;
 - Termopar de superfície; e
 - Outros dispositivos de medição são necessários para medir Descarga de fundo (*blowdown*) os parâmetros acima.



$$\eta = 1 - \sum \text{Perdas}$$

Chaminé

Radiação

Convecção

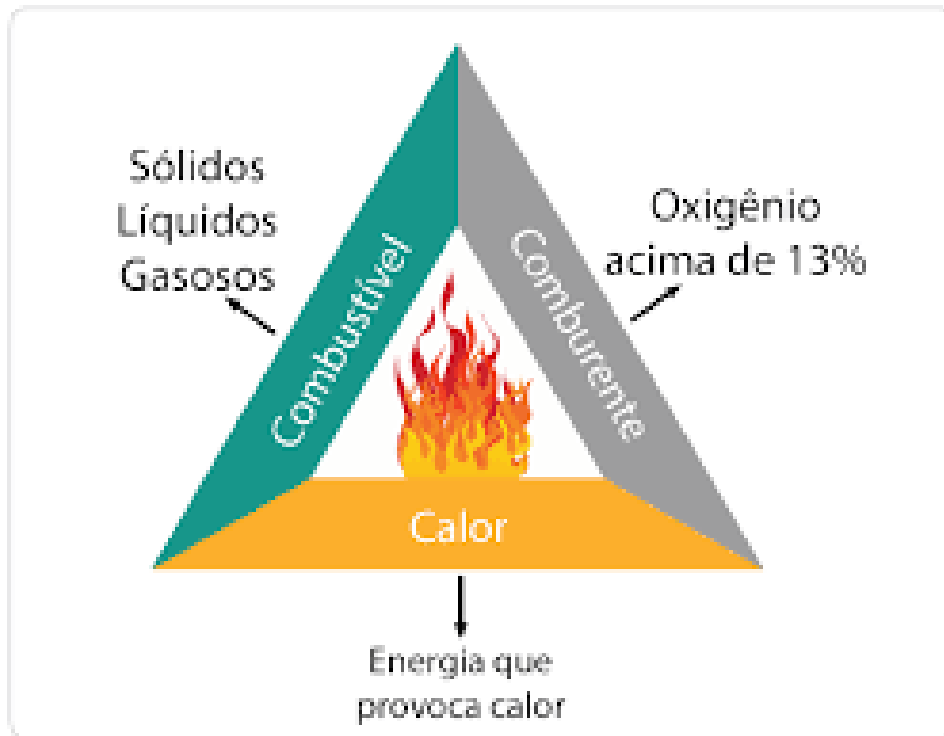
Descarga de fundo (*blowdown*)

Cinzas

Combustível

Combustã

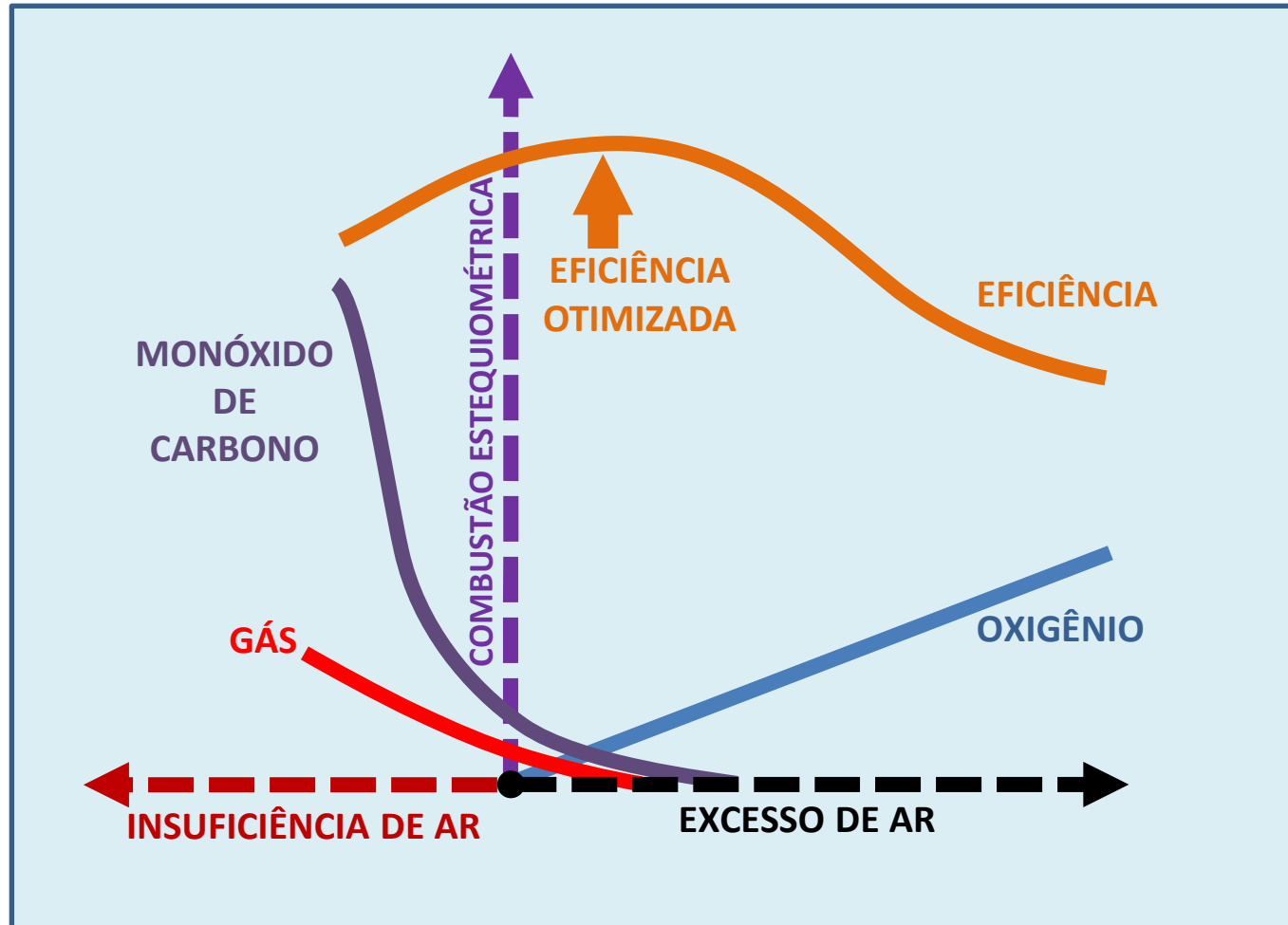
Combustíveis e a combustão: conceitos



- Oxidação completa do carbono
- Oxidação e incompleta do carbono;
- Oxidação do hidrogênio;
- Oxidação do enxofre; e
- É apresentado também o calor liberado em cada reação, por unidade de massa do combustível.

REAGENTES		PRODUTOS	ENERGIA LIBERADA
$C + O_2$	→	CO_2	+ 8.100 kcal/kg C
$C + 1/2 O_2$	→	CO	+ 2.400 kcal/kg C
$2 H_2 + O_2$	→	$2 H_2O (L)$	+ 34.100 kcal/kg H_2
$S + O_2$	→	SO_2	+ 2.200 kcal/kg S

Combustão



Ar atmosférico

O Ar Atmosférico possui:

78,1% de N_2

20,9% de O_2

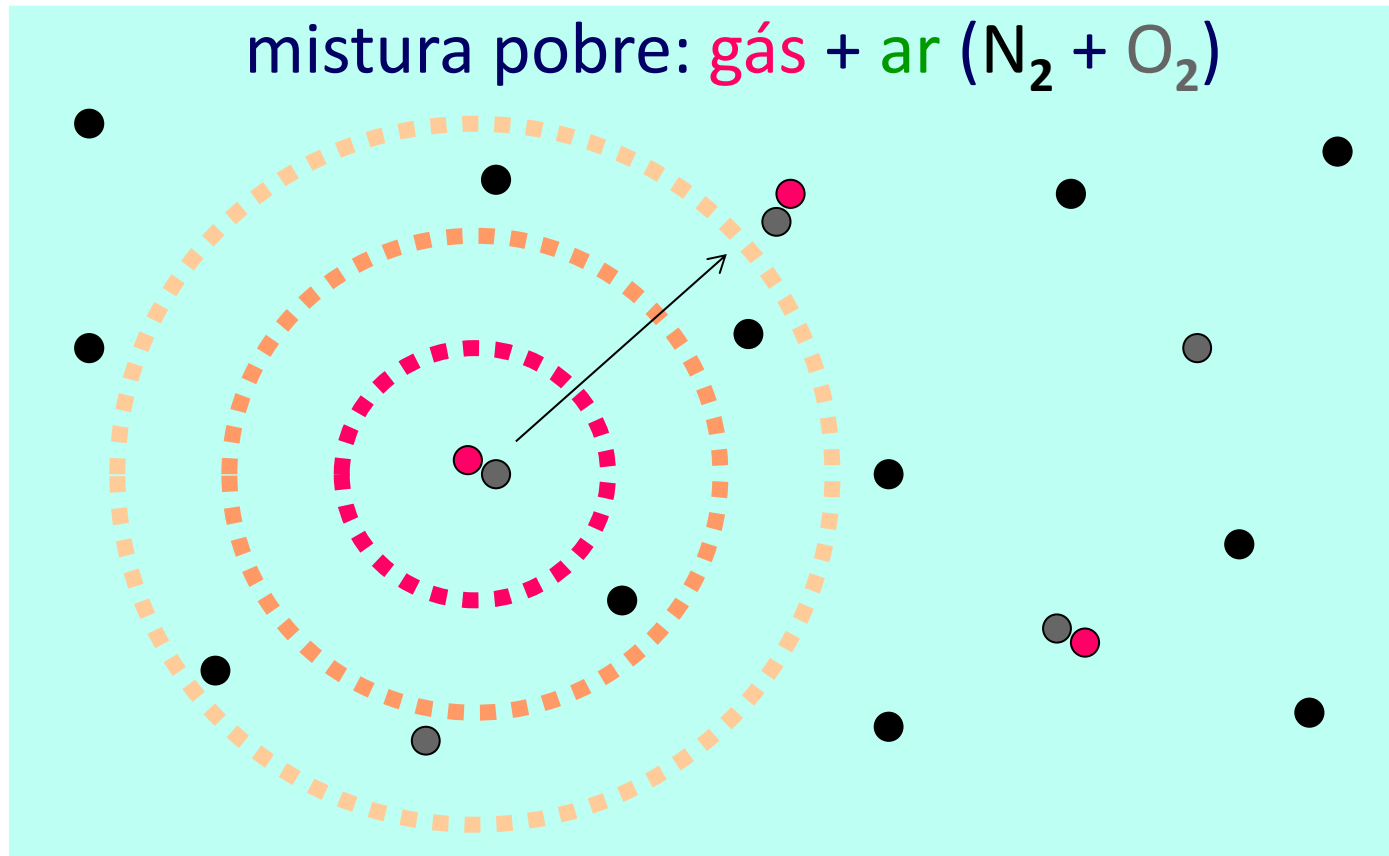
1% outros

	O_2	=	20,9% (v/v)
Ar atmosférico	N_2	=	78,1%
	Ar/outros	=	1,0%



Ar = 1 volume de O_2 + 4 volumes de “inertes”

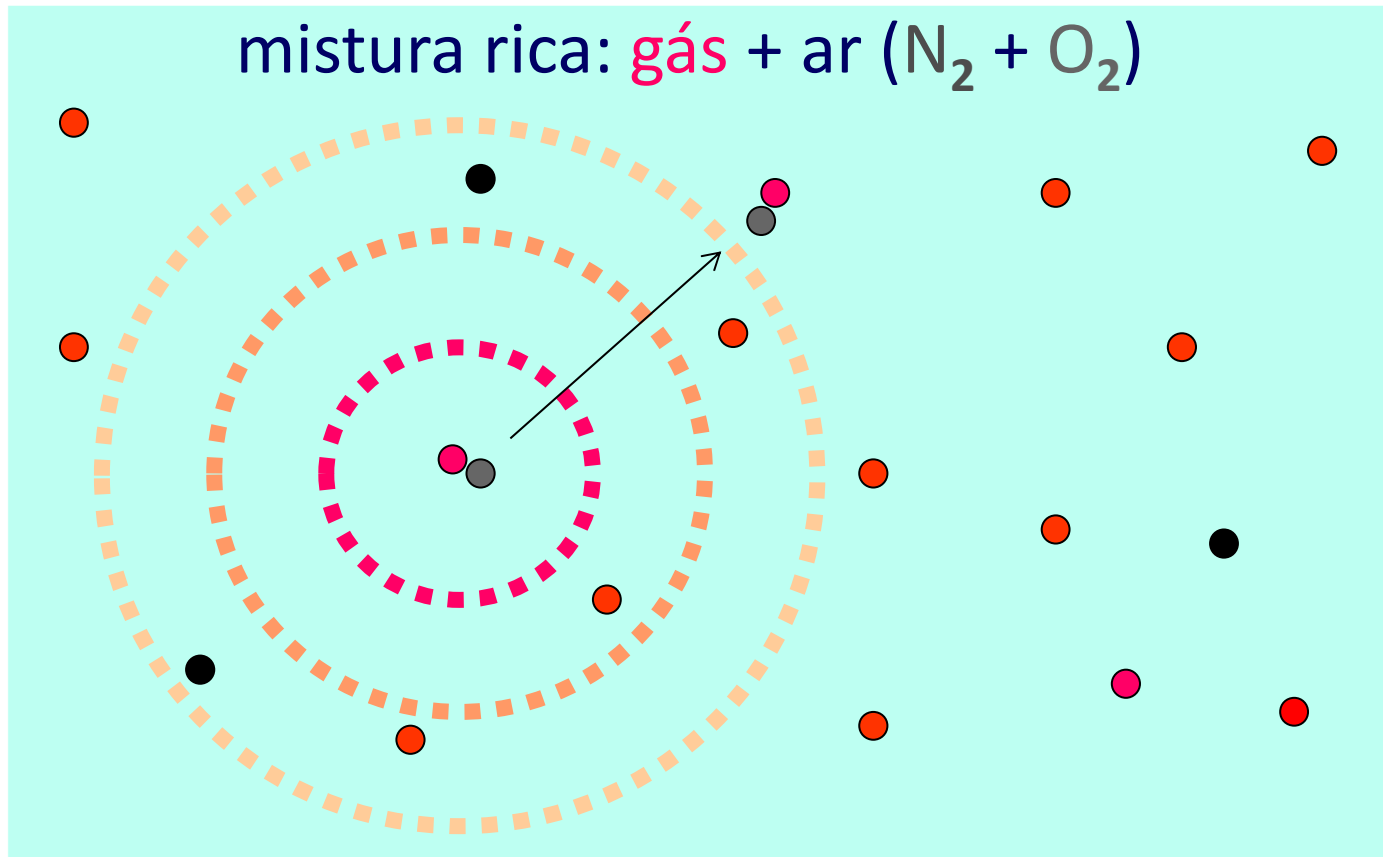
Misturas inflamáveis: pobre



- Mistura pobre é aquela com baixos teores de gás e elevados teores de ar;
- Assim, quando ocorre uma fonte de ignição, não é possível transmitir a temperatura mínima de ignição para o próximo par gás-oxigênio; e
- A reação em cadeia não acontece.

Fonte: Costa, F.C.; Treinamento UG, 1ª parte, 2020

Misturas inflamáveis: rica

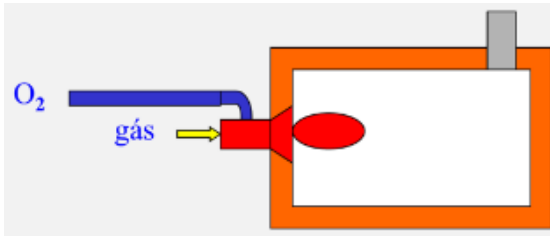


- Mistura rica é aquela com elevados teores de gás e baixos teores de ar;
- Assim, quando ocorre uma fonte de ignição, não é possível transmitir a temperatura mínima de ignição para o próximo par gás-oxigênio; e
- A reação em cadeia também não acontece.

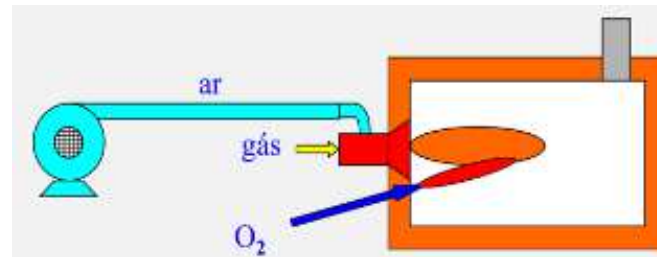
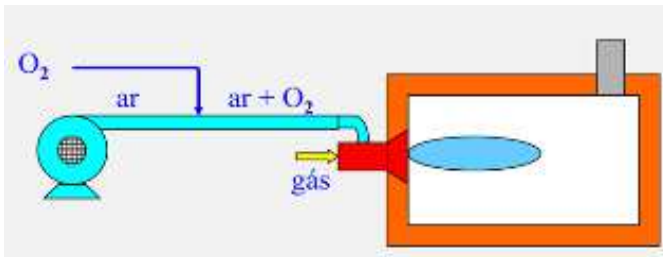
Fonte: Costa, F.C.; Treinamento UG, 1ª parte, 2020

Ar enriquecido?

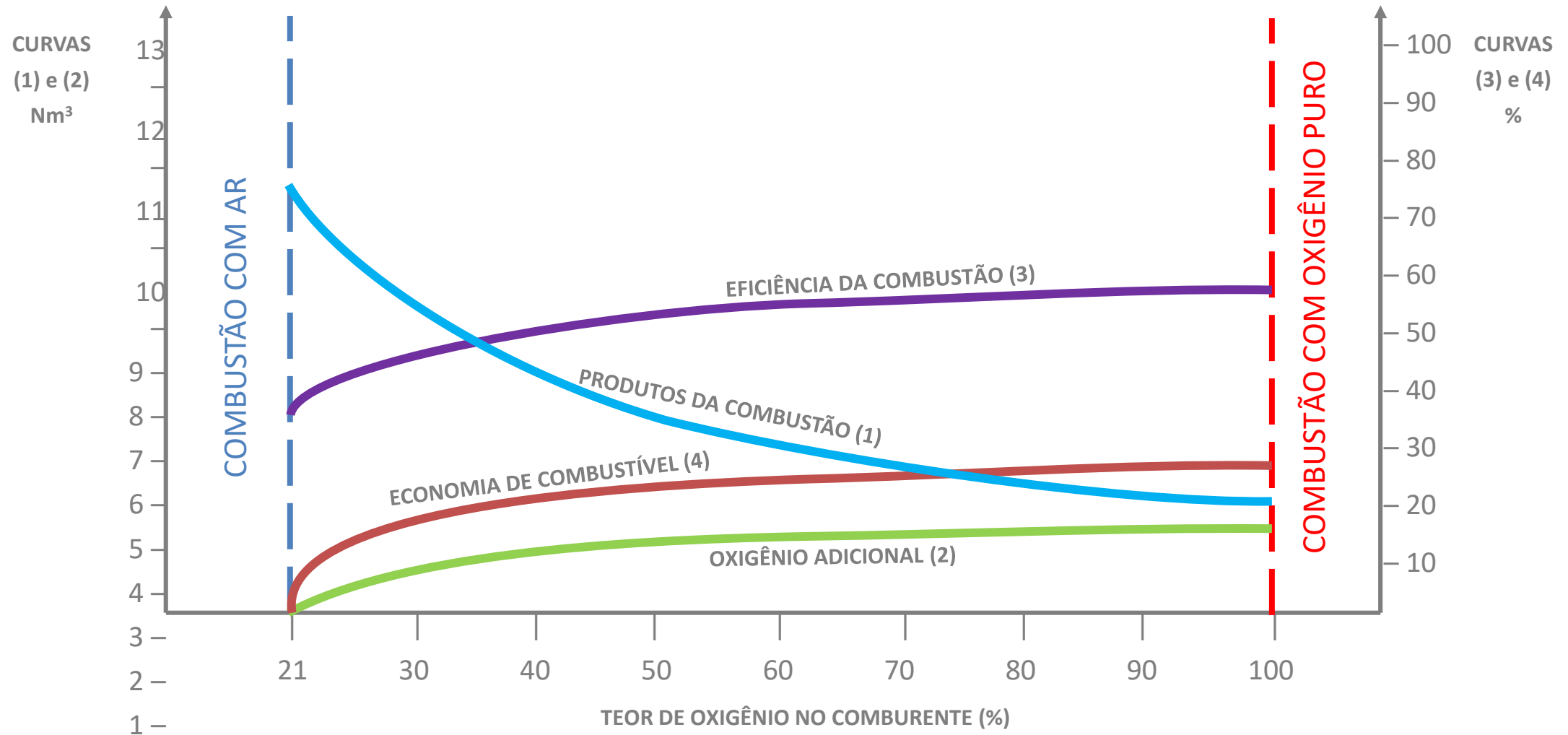
- 100% de O_2 como comburente;

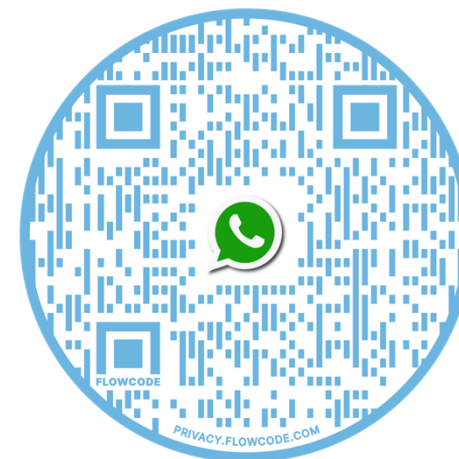
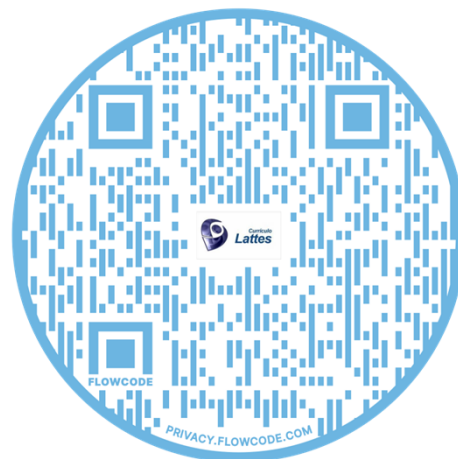
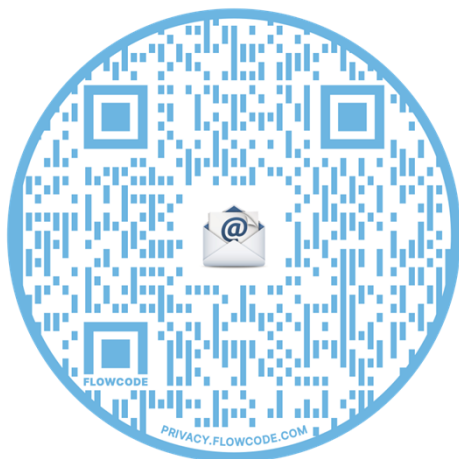


- Mistura de Ar Atmosférico + Oxigênio.



COMBUSTÍVEL: GÁS NATURAL
COMBURENTE A 25 °C
TEMPERATURA DE EXAUSTÃO
1.150 °C





DSc. Eng. Samuel Moreira Duarte Santos

CREA 106478D

samuelfmoreira@id.uff.br

(21) 980031100

<https://www.linkedin.com/in/samuel-moreira-a3669824/>

<http://lattes.cnpq.br/8103816816128546>